

ISSN: 1668-9178

oet

N° 45

AÑO XXXII

Diciembre de 2023

REVISTA DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología
Universidad Nacional de Tucumán



Ulises consultando el espíritu de Tiresias, quien asoma su canosa cabeza a los pies del héroe.
A los lados, Perimedes y Euríloco, compañeros de Ulises. Crátera, siglo IV a. C. Gabinete de medallas de la BNF, París.



UNIVERSIDAD
NACIONAL ✦
DE TUCUMÁN



Diseño de un arreglo de antenas slot para Banda X

ISE, Juan E. ¹; HEMSY, Axel ²; FAGRE, Mariano ¹;
CARCAMO, Mariano G. ¹; LEMA, Adán J.A. ¹

¹ Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología.
Departamento de Electricidad, Electrónica y Computación, Tucumán. Argentina.

² Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología.
Departamento de Física, Tucumán. Argentina.

Resumen

Se presenta el diseño y simulación de un arreglo de antenas slot para Banda X, (10 Ghz), excitando en fase cada elemento, por lo que el patrón de radiación es de tipo broadside. Los resultados observados en la simulación muestran buenas características de radiación y eficiencia, el comportamiento del arreglo frente a variaciones de frecuencia también fue evaluado, comprobando la capacidad de barrido del haz de este tipo de antenas.

Palabras clave: Antenas Slot, Arreglo de antenas, Antenas microondas.

X Band Slot Antenna Array Design

Abstract

Design and simulation of a slot antenna array for Band X (10 Ghz) is presented, exciting each element in phase, so the radiation pattern is broadside. The results observed in the simulation show good radiation and efficiency characteristics, the behavior of the array against frequency variations was also evaluated, checking the beam scanning capacity of this type of antennas.

Keywords: *Slot antennas, Array antennas, Microwave antennas.*

Introducción

En el ámbito de las comunicaciones inalámbricas y la transmisión de señales, el diseño y desarrollo de antenas eficientes y versátiles ha sido una búsqueda constante. Entre las diversas estructuras, las antenas slot han emergido como una

alternativa prometedora debido a su buen rendimiento, diseño compacto, capacidad de manejo de potencia y simplicidad de fabricación, **Rengarajan** (2009).

Desde mediados del siglo pasado, las características de radiación de las ranuras en guías de onda, fueron estudiadas por **Watson** (1946) y fundamentadas por **Stevenson** (1948), básicamente

el funcionamiento de este tipo de antenas se basa en la abertura o ranura practicada en un material conductor, que permite la radiación electromagnética. Esta técnica ha evolucionado significativamente desde sus primeros diseños, utilizándose principalmente en el rango de frecuencias de UHF y microondas, con particular interés en aplicaciones de radar, **Sekretarov et al.** (2010). La simplicidad de su estructura, junto con su capacidad para integrarse en diferentes sustratos, ha despertado un interés creciente en la comunidad científica y tecnológica.

El propósito principal de esta investigación es explorar el diseño de antenas slot, centrándose en los fundamentos teóricos y prácticos que influyen en su eficacia, **Ripoll y Sierra** (2015). Se analizarán aspectos clave, las estrategias de diseño, las técnicas de simulación y caracterización.

En la Fig. 1 se muestra un esquemático de la antena propuesta, donde se puede ver que la misma consiste en una serie de ranuras prácticas sobre la cara más ancha de guía de onda, que al ser excitada en modo dominante TE₁₀, genera corrientes sobre las paredes de la misma, estas son captadas por las ranuras, que están desplazadas del centro de la pared, produciendo la radiación a través de las aberturas.

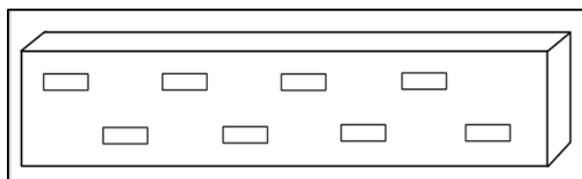


Figura 1: Esquemático de un Arreglo de Antenas Slot.

Para el diseño se utiliza una guía de onda rectangular WR-90, con dimensiones con un espesor de , Fig. 2, que puede operar en el rango de frecuencias que va de 8.2 Ghz a 12.4 Ghz, la frecuencia operación utilizada para el diseño es 10 Ghz.

El arreglo se formará con 16 antenas de tipo slot (ranura) implementadas sobre una de las caras de ancho “a” de la guía de onda rectangular. La guía se excita desde uno de sus extremos, cortocircuitando el extremo opuesto, la distancia de la última ranura al extremo en CC será de $\lambda_g/4$, o múltiplo impar, comportándose como un circuito abierto.

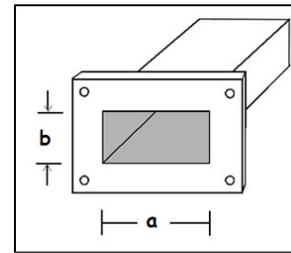


Figura 2: Dimensiones de la guía de onda WR-90.

Metodología y resultados

El diseño del arreglo requiere conocer, posición, ancho y longitud de las ranuras, que se realizarán en la pared de la guía de onda, los datos de inicio serán:

- Frecuencia de operación
- Número de ranuras
- Relación del lóbulo principal al secundario

Esto último si se optara por una distribución de amplitudes no uniforme, lo cual no es objeto en este trabajo.

Determinación de la posición de las ranuras

De acuerdo con **Misilmani et al.** (2015), los centros de las ranuras que limitan con los extremos de la guía de onda deben estar a $1/4$ o $3/4$ de λ_g (longitud de onda guiada) de los mismos y la distancia entre los centros de dos ranuras consecutivas debe ser de $1/2$ de λ_g , Fig. 3.

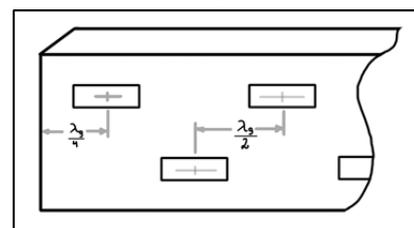


Figura 3: Dimensiones del Arreglo de Antenas Slot.

La longitud de onda de la antena, a la frecuencia de operación, es de $\lambda_0 = 2.998$ [cm], y la longitud de la onda guiada se la puede calcular empleando la siguiente ecuación, **Misilmani et al.** (2020):

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2}} \rightarrow \lambda_g = 3.971[\text{cm}] \quad \frac{\lambda_g}{2} = 1.985[\text{cm}] \quad \frac{\lambda_g}{4} = 0.993[\text{cm}] \quad (1)$$

Ancho de ranura

En la experiencia, el ancho de ranura más utilizado en banda X es $w = 1.58$ [mm] para $a = 22.86$ [mm]. En caso de utilizar una guía de onda diferente, puede obtener el nuevo ancho w en forma proporcional, **Misilmani et al.** (2015), dado que no es una medida crítica.

$$w = a * \frac{1.58}{22.86} [mm] \quad (2)$$

Longitud de la ranura

Según **Stevenson** (1947) la longitud de la ranura debe ser cercana a la primera resonancia, tomando 0.98 de $\lambda_0/2$ o lo que es lo mismo, 0.49 de λ_0 . Teniendo en cuenta esto, y luego de algunas iteraciones, se fijó el largo de la ranura es de $L = 0.472 * \lambda_0 = 1.415$ [cm].

Desplazamiento de ranura respecto de línea media

Consideramos un arreglo con distribución uniforme, donde todas las antenas son excitadas con la misma fase, por lo tanto, todas las ranuras tendrán la misma distancia a la línea media, Fig. 4, de esta forma se obtiene una relación de lóbulo secundario en el orden de $SLR \leq -13$ [db].

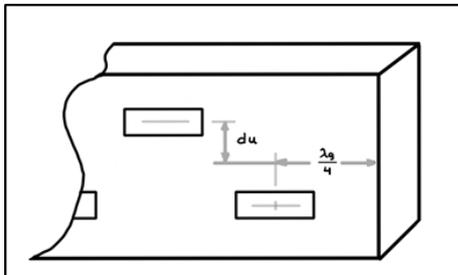


Figura 4: Dimensiones del Arreglo de Antenas Slot.

Otras distribuciones de amplitud son posibles, como Taylor o Chebyshev, para ajustar la relación entre el máximo y los lóbulos secundarios, **Balanis** (2005)

La separación de las ranuras, con respecto a la línea media, puede estimarse según (3), **Misilmani et al.** (2015)

$$du = \frac{a}{\pi} * \sqrt{\arcsin\left(\frac{1}{N+G}\right)} \quad (3)$$

Con N igual al número de ranuras y G :

$$G = 2.09 * \frac{a}{b} * \frac{\lambda_0}{\lambda_g} \left(\cos(0.464\pi * \frac{\lambda_0}{\lambda_g}) - \cos(0.464\pi) \right)^2 \quad (4)$$

Dando como resultado una separación de las ranuras con respecto al eje central de $du = 2.14$ [mm].

Simulaciones y resultados obtenidos

La estructura simulada se muestra en la Fig. 5 donde se pueden ver las ranuras y su disposición a lo largo del flanco de la guía.

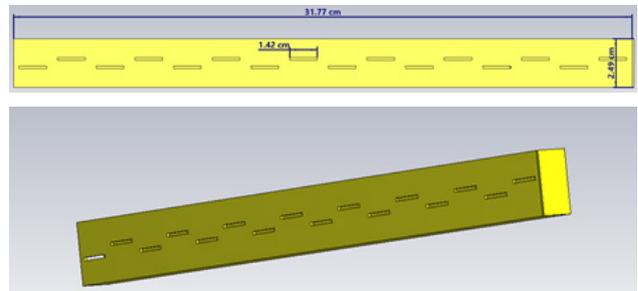


Figura 5: Estructura modelada en el Software.

El arreglo simulado presenta una buena respuesta dentro de la banda de operación de la guía de onda, con características resonantes en la frecuencia de diseño, Fig. 6.

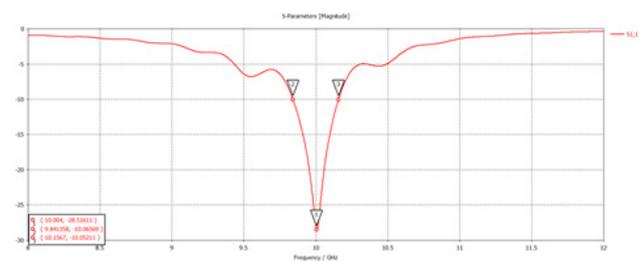


Figura 6: Coeficiente de reflexión del arreglo.

La relación de onda estacionaria se muestra en la Fig. 7, considerando como referencia el valor de $VSWR = 2$, el ancho de banda del arreglo es $AB = 340$ Mhz, siendo este tipo de estructuras muy resonante, los resultados obtenidos son aceptables, considerando que este tipo de arreglos no es de banda ancha.

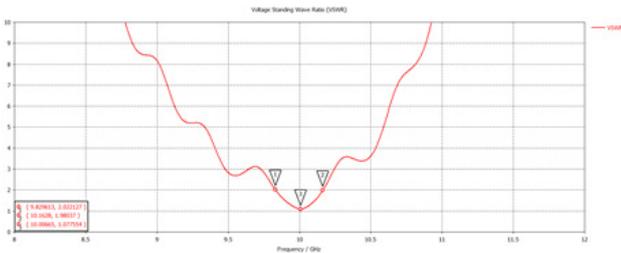


Figura 7: Relación de Onda Estacionaria, VSWR

El patrón de radiación del arreglo de antenas se muestra en Fig. 8 y Fig. 9, los datos se detallan en la Tabla 1.

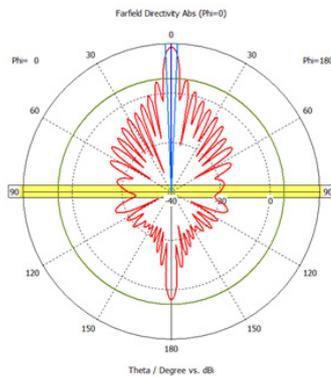


Figura 8: Diagrama polar con $\varphi = 0^\circ$ a una Frecuencia de 10[GHz].

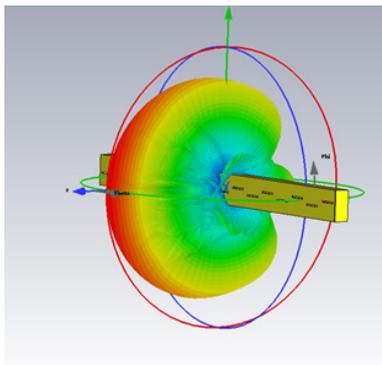


Figura 9: Patrón de Radiación 3D del arreglo de antenas a una Frecuencia de 10[GHz].

Tabla 1: Parámetros de radiación del arreglo

Frecuencia	10 Ghz
Directividad	18.72 dBi
Eficiencia de Radiación	-0.03305 dB
Eficiencia Total	-0.02641 dB
Dirección haz principal	0 °
Ancho de Banda 3 dB	4.7°
Relación lóbulo secundario	-12.9 dB

Variación de la dirección del máximo del arreglo

El arreglo diseñado tiene características de radiación broadside, por lo tanto, la excitación de cada elemento del arreglo es en fase, ahora bien, cuando la frecuencia de excitación varía, los elementos del arreglo dejan de estar en fase, por lo que el máximo del patrón de radiación cambia de dirección, Fig. 10 y se muestran en la Tabla 2.

Este comportamiento permite apuntar el haz principal del arreglo en diferentes direcciones, variando la frecuencia de excitación, lo cual es muy útil en aplicaciones de radar, por ej., en forma sencilla y compacta, puesto que no requiere variadores de fase en cada elemento.

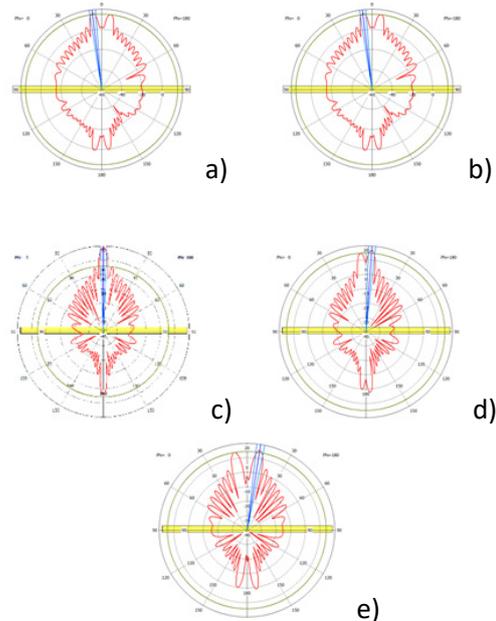


Figura 10: Variación del máximo de radiación a)11 Ghz b)10.5 Ghz c)10 Ghz, d)9.5 Ghz e)9 Ghz

Tabla 2: Variación del haz con la frecuencia

Frecuencia Ghz	Dirección Máximo	Directividad Dbi
9	9°	15.6
9.5	4°	16.9
10	0°	18.7
10.5	-4°	17
11	-7°	16.1

Conclusión

Se procedió al diseño de un arreglo lineal broadside de antenas slot sobre una guía de

onda rectangular WR-90, los datos presentados en la Tabla 1, muestran que la ganancia del arreglo obtenida fue de 18.7 dBi, a la frecuencia de diseño, la relación con los lóbulos secundarios es superior a -12.9 db, y la eficiencia del arreglo 0.026 db, obteniendo resultados similares a otros trabajos realizados.

La posibilidad de usar este tipo de antenas para hacer escaneos fue analizada, resultando en variaciones de 8° por Ghz, por lo que el uso de este tipo de antenas en arreglos planares, para aplicaciones de Radar, sobre todo en ámbito aeroespacial, sea de interés por su diseño simple y compacto.

Referencias bibliográficas

Balanis, C. (2005) "Antenna Theory", Wiley-Interscience.

Misilmani, H. El, Al-Husseini, M. y Kabalan, K. (2020) "Design procedure for planar slotted waveguide antenna arrays with controllable sidelobe level ratio for high power microwave applications", Wiley.

Misilmani, H. El, Al-Husseini, M. y Kabalan, K. (2015) "Design of Slotted Waveguide Antennas with Low Sidelobes for High Power Microwave Applications".

Misilmani, H. El, Al-Husseini, M., Kabalan, K. y El-Hajj, A. (2014) "A Design Procedure for Slotted Waveguide Antennas with Specified Sidelobe Levels", 2014 International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS), IEEE.

Rengarajan, S. R. (2009) "A Tutorial on Design and Analysis of Waveguide-Fed Slot Array Antennas" Applied Electromagnetics Conference (AEMC), 14-16, Dec. 2009, pp 1-2.

Ripoll, L. y Sierra, M. (2015) "Design, Simulation and Test of a Slot Antenna Array Using One Parameter Taylor Synthesis in the GHz Range", IEEE Latin America Transactions, vol. 13, no. 10.

Sekretarov, S., Vavriv, D. M. y Shevtsova, L. V. (2010) "Slotted Waveguide Antenna Arrays for Airborne Radars", 18th International Conference on Microwave Radar and Wireless Communications (MIKON), 14-16.

Stevenson, A.F. (1948) "Theory of slots in rectangular waveguides", J. Appl. Phys., 1948, 19, pp. 24-38.

Watson, W. H. (1946) "Resonant slots," Inst. Elec. Eng., vol. 93, pt. IIIa, pp. 141-711.

AUTORES

ISE, Juan E - ORCID  0000-0002-1009-0711

Ingeniero Electricista Orientación Electrónica (1989). Profesor Asociado Cátedra de Electromagnetismo, Profesor Adjunto Cátedra de Circuitos Eléctricos II, de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán. Director del Laboratorio de Telecomunicaciones.

E-mail: jjise@herrera.unt.edu.ar

HEMSY, Axel - ORCID  0000-0002-3810-3684

Licenciado en Física. Auxiliar Docente Graduado Cátedra de "Física Experimental II", de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán. Becario Doctoral CONICET.

E-mail: ahemtsy@herrera.unt.edu.ar

FAGRE, Mariano - ORCID  0000-0002-0073-6371

Dr. en Ciencias Exactas e Ingeniería. Investigador Asistente CONICET.

E-mail: mfagre@herrera.unt.edu.ar

CARCAMO, Mariano G.

Alumno de Ingeniería Electrónica, de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.

E-mail: marianocarcamo98@gmail.com.

LEMA, Adan J. A.

Alumno de Ingeniería Electrónica, de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.

E-mail: adanlema@hotmail.com



REVISTA DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología